

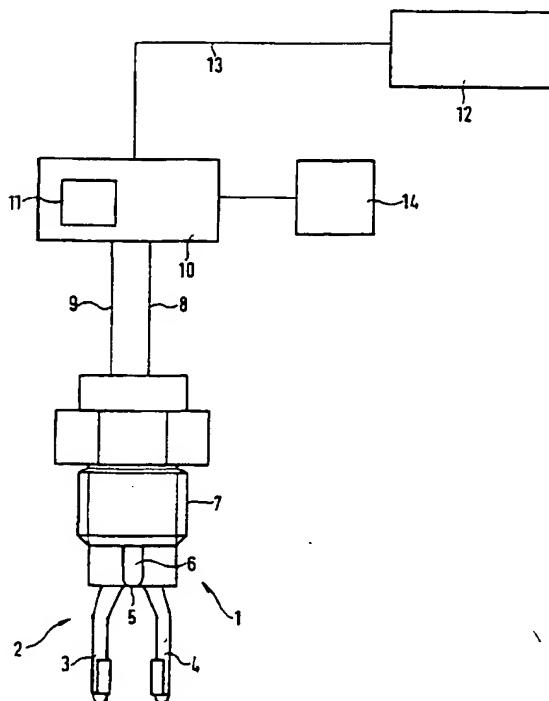


⑯ Anmelder:  
Endress + Hauser GmbH + Co., 79689 Maulburg, DE  
⑯ Vertreter:  
Andres, A., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 79589 Binzen

⑯ Erfinder:  
D'Angelico, Sascha, 79540 Lörrach, DE; Lopatin, Sergej, 79540 Lörrach, DE  
⑯ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:  
DE 40 08 135 C2  
DE 31 40 938 C2  
DE 196 46 685 A1

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑯ Verfahren und Vorrichtung zur Feststellung und/oder Überwachung des Füllstandes eines Mediums in einem Behälter  
⑯ Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Feststellung und/oder Überwachung des Füllstandes eines Mediums in einem Behälter bzw. zur Ermittlung der Dichte eines Mediums in einem Behälter. Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung vorzuschlagen, die eine verlässliche Bestimmung und/oder Überwachung des Füllstandes oder der Dichte des Mediums erlauben. Bezuglich der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß zumindest ein erster Mode und ein zweiter Mode der Schwingungen der schwingfähigen Einheit (2) ausgewertet werden und daß anhand der ausgewerteten Moden eine Massenänderung an der schwingfähigen Einheit (2) erkannt wird.



## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Feststellung und/oder Überwachung des Füllstandes eines Mediums in einem Behälter bzw. zur Ermittlung der Dichte eines Mediums in einem Behälter gemäß dem Oberbegriff der Ansprüche 1 bzw. 10.

Es sind bereits Vorrichtungen mit zumindest einem Schwingelement, sog. Vibrationsdetektoren, zur Detektion bzw. zur Überwachung des Füllstandes eines Mediums in einem Behälter bekannt geworden. Bei dem Schwingelement handelt es sich üblicherweise um zumindest einen Schwingstab, der an einer Membran befestigt ist. Die Membran wird über einen elektromechanischen Wandler, z. B. ein piezo-elektrisches Element, zu Schwingungen angeregt. Aufgrund der Schwingungen der Membran führt auch das an der Membran befestigte Schwingelement Schwingungen aus.

Als Füllstandsmeßgeräte ausgebildete Vibrationsdetektoren nutzen den Effekt aus, daß die Schwingungsfrequenz und die Schwingungsamplitude abhängig sind von dem jeweiligen Bedeckungsgrad des Schwingelements: Während das Schwingelement in Luft frei und ungedämpft seine Schwingungen ausführen kann, erfährt es eine Frequenz- und Amplitudenänderung, sobald es teilweise oder vollständig in das Medium eintaucht. Anhand einer vorbestimmten Frequenzänderung (üblicherweise wird die Frequenz gemessen) läßt sich folglich ein eindeutiger Rückschluß auf das Erreichen des vorbestimmten Füllstandes des Mediums in dem Behälter ziehen. Füllstandsmeßgeräte werden übrigens vornehmlich als Überfüllsicherungen oder zum Zwecke des Pumpenleeraufschutzes verwendet.

Darüber hinaus wird die Dämpfung der Schwingung des Schwingelements auch von der jeweiligen Dichte des Mediums beeinflußt. Daher besteht bei konstantem Bedeckungsgrad eine funktionale Beziehung zur Dichte des Mediums, so daß Vibrationsdetektoren sowohl für die Füllstands- als auch für die Dichtebestimmung bestens geeignet sind. In der Praxis werden zwecks Überwachung und Erkennung des Füllstandes bzw. der Dichte des Mediums in dem Behälter die Schwingungen der Membran aufgenommen und mittels zumindest eines Piezoelements in elektrische Empfangssignale umgewandelt.

Die elektrischen Empfangssignale werden anschließend von einer Auswerte-Elektronik ausgewertet. Im Falle der Füllstandsbestimmung überwacht die Auswerte-Elektronik die Schwingungsfrequenz und/oder die Schwingungsamplitude des Schwingelements und signalisiert den Zustand "Sensor bedeckt" bzw. "Sensor unbedeckt", sobald die Meßwerte einen vorgegebenen Referenzwert unter- oder überschreiten. Eine entsprechende Meldung an das Bedienpersonal kann auf optischem und/oder auf akustischem Weg erfolgen. Alternativ oder zusätzlich wird ein Schaltvorgang ausgelöst; so wird etwa ein Zu- oder Ablaufventil an dem Behälter geöffnet oder geschlossen.

Die zuvorgenannten Geräte zum Messen des Füllstandes oder der Dichte werden in einer Vielzahl von Industriezweigen eingesetzt, beispielsweise in der Chemie, in der Lebensmittelindustrie oder bei der Wasseraufbereitung. Die Bandbreite der überwachten Füllgüter reicht von Wasser über Joghurt, Farben und Lacke bis hin zu hochviskosen Füllgütern, wie Honig, oder bis hin zu stark schäumenden Füllgütern, wie Bier.

Probleme bei der Füllstands- bzw. Dichtemessung mittels Vibrationsdetektoren bereitet die Tatsache, daß es keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen einer auftretenden Frequenzänderung und dem Bedeckungsgrad bzw. der Dichte des Mediums gibt. Eine wesentliche Störgröße, die sich ebenso wie die Ankopplung an die Masse des Mediums in einer Verschiebung der Resonanzfrequenz bemerkbar macht, stellt die Massenänderung an der schwingfähigen Einheit dar. Eine Massenänderung kann sowohl durch Ansatzbildung, also durch die Bildung von Ablagerungen des Mediums an der schwingfähigen Einheit, als auch durch die Korrosion der Schwingstäbe hervorgerufen werden. Je nach Art und Grad der Massenänderung kann hier der höchst unerwünschte Fall eintreten, daß der Sensor dauerhaft "Bedeckt" bzw. "Unbedeckt" und damit das Erreichen des vorbestimmten Füllstandes meldet, obwohl der Grenzfüllstand noch nicht erreicht ist. Analoges gilt hinsichtlich der Dichtemessung: Es wird die falsche Dichte des Mediums gemessen und angezeigt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung vorzuschlagen, die eine verlässliche Bestimmung und/oder Überwachung des Füllstandes oder der Dichte eines Mediums erlauben.

Die Aufgabe wird bezüglich des Verfahrens dadurch gelöst, daß zumindest ein erster Mode und ein zweiter Mode der Schwingungen der schwingfähigen Einheit ausgewertet werden und daß anhand der ausgewerteten Moden eine Massenänderung der schwingfähigen Einheit erkannt wird. Obwohl im nachfolgenden oftmals ausschließlich Bezug auf einen Massenzuwachs genommen wird, der sich bei Ansatzbildung an der schwingfähigen Einheit einstellt, gelten vergleichbare Überlegungen natürlich für den Massenschwund, der u. a. eine Folge der Korrosion der Schwingstäbe sein kann.

Die Erfindung basiert auf dem physikalischen Effekt, daß sich bei Erregung der schwingfähigen Einheit unterschiedliche Schwingungsmoden ausbilden. An nachfolgender Stelle wird noch näher ausgeführt, welche unterschiedlichen Schwingungsmoden bei einem Vibrationsdetektor mit beispielsweise paddelförmigen Schwingstäben auftreten.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, daß als erster und zweiter Mode Moden ausgewertet werden, deren Schwingungen von dem Medium unterschiedlich beeinflußt werden.

Eine bevorzugte Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens schlägt vor, daß es sich bei dem ersten Mode um einen Mode handelt, dessen Schwingungen im wesentlichen unabhängig sind von dem Medium, und daß es sich bei dem zweiten Mode um einen Mode handelt, dessen Schwingungen von dem Medium beeinflußt werden. Konkret bedeutet dies, daß als erster Mode ein Mode ausgewählt wird, dessen Eigenfrequenz bzw. Resonanzfrequenz sich infolge einer Massenänderung verschiebt, dessen Resonanzfrequenz jedoch im wesentlichen unverändert bleibt, wenn die schwingfähige Einheit in Kontakt mit dem Medium kommt. Für den ersten Mode kommen daher alle Moden in Frage, bei denen die Querschnittsflächen "Schwingstäbe-Medium" der Schwingstäbe in Schwingrichtung klein sind. Ist diese Voraussetzung erfüllt, so ist die Wechselwirkung der schwingfähigen Einheit mit dem Medium und damit die Massenankopplung der schwingfähigen Einheit an das Medium relativ gering. Als zweiter Mode wird ein Mode ausgewählt, dessen Eigenfrequenz sich eklatant ändert, sobald die schwingfähige Einheit in Kontakt mit dem Medium kommt.

Eine vorteilhafte Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, daß anhand einer Änderung des ersten Modes, dessen Schwingungen im wesentlichen unabhängig von dem Medium sind, erkannt wird, ob an der schwingfähigen Einheit eine Massenänderung aufgetreten ist. Insbesondere ist vorgesehen, daß anhand einer Frequenzänderung der Schwingungen des ersten Modes eine Ansatzbildung bzw. ein Massenschwund an der schwingfähigen Einheit er-

kannt wird.

Während die zuvor beschriebene erste Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens vorsieht, daß zwei Moden ausgewählt werden, die gänzlich unterschiedliche Reaktionen als Folge der Massenänderung bzw. als Folge des Kontakts mit dem Medium zeigen, geht eine zweite Variante einen anderen Weg. Gemäß der alternativen zweiten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, daß als erster Mode und als zweiter Mode der Schwingungen der schwingfähigen Einheit zwei Moden ausgewählt werden, wobei beide Moden jeweils einen ersten Anteil aufweisen, der abhängig ist von der Ankopplung an die Masse des Mediums, und wobei beide Moden einen zweiten Anteil aufweisen, der unabhängig ist von der Ankopplung an die Masse des Mediums und der nur von der jeweiligen Masse der schwingfähigen Einheit abhängig ist.

Eine vorteilhafte Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, daß anhand der funktionalen Abhängigkeit des ersten und des zweiten Modes der Schwingungen der schwingfähigen Einheit von dem Medium bzw. von der Masse der schwingfähigen Einheit Rückschlüsse auf eine Massenänderung der schwingfähigen Einheit gezogen werden. Die einzige Forderung, die hinsichtlich der Auswahl der beiden Moden zu stellen ist, daß sie sich hinreichend voneinander unterscheiden.

Die Ermittlung des Einflusses der Ansatzbildung auf die Meßwerte erfolgt bevorzugt über ein Gleichungssystem, das sich aus den beiden nachfolgend genannten Formeln zusammensetzt:

$$\Delta F_C = f_C^1(m_k) + f_C^2(m_a)$$

20

$$\Delta F_D = f_D^1(m_k) + f_D^2(m_a)$$

20

Die in diesem Gleichungssystem verwendeten Symbole kennzeichnen die folgenden Größen:

$\Delta f_C$ : die relative Frequenzverschiebung eines ersten Modes;  
 $\Delta f_D$ : die relative Frequenzverschiebung eines zweiten Modes;  
wobei der Term

25

$$\Delta F [\%] = \left( \frac{F_{\text{Meß}} [\text{Hz}]}{F_{\text{Luft\_ohne\_Ansatz}} [\text{Hz}]} - 1 \right) * 100\%$$

30

jeweils die relative Frequenzverschiebung der Eigenfrequenz des entsprechenden Modes symbolisiert, wobei relativ bedeutet, daß die gemessene Frequenzverschiebung in bezug auf die entsprechende Eigenfrequenz in Luft ohne Ansatzbildung in Prozent ausgedrückt wird;

$m_k$ : ein Maß für jegliche Art von Massenkopplung an und Dämpfung durch das Medium. Hier spielen – wie bereits an vorhergehender Stelle beschrieben – neben der Eintauchtiefe  $h$  der schwingfähigen Einheit auch die Dichte  $\rho$  des Mediums und die Viskosität  $\eta$  des Mediums eine Rolle. Rechnerisch läßt sich dies durch folgende funktionale Beziehung ausdrücken:  $m_k = f(h; \rho, \eta)$ ;  $m_a$ : die Ansatzmasse;

35

$f_C^1(m_k)$ ,  $f_D^1(m_k)$ : die Frequenzverschiebungskurven zweier hinreichend unterschiedlicher Moden (z. B. Mode C und Mode D) der schwingfähigen Einheit als Funktion der Massenkopplung  $m_k$  der schwingfähigen Einheit an und der Dämpfung der schwingfähigen Einheit durch das Medium (→ Eintauchkurven);

40

$f_C^2(m_a)$ ,  $f_D^2(m_a)$ : die Frequenzverschiebungskurven zweier hinreichend unterschiedlicher Moden (z. B. Mode C und Mode D) der schwingfähigen Einheit als Funktion der Ansatzbildung  $m_a$  an der schwingfähigen Einheit (→ Ansatzkurven).

Eine vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, daß eine Fehlermeldung ausgegeben wird, wenn die durch Massenänderung der schwingfähigen Einheit hervorgerufenen Frequenzänderungen eines ersten und/oder eines zweiten Modes der Schwingungen der schwingfähigen Einheit einen vorgegebenen Sollwert überschreiten.

45

Besonders vorteilhaft ist es, wenn eine durch Massenänderung an der schwingfähigen Einheit hervorgerufene Änderung eines ersten und/oder eines zweiten Modes der Schwingungen der schwingfähigen Einheit dazu verwendet wird, eine Inline-Korrektur der Meßdaten der schwingfähigen Einheit vorzunehmen.

50

Bezüglich der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß die Regel-/Auswerteeinheit zumindest einen ersten Mode und einen zweiten Mode der Schwingungen der schwingfähigen Einheit zur Auswertung heranzieht und daß die Regel-/Auswerteeinheit anhand der ausgewerteten Moden eine Massenänderung an der schwingfähigen Einheit erkennt.

55

Eine vorteilhafte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung sieht vor, daß die Auswerte-/Regeleinheit in die Vorrichtung zur Bestimmung und/oder Überwachung des Füllstandes bzw. zur Bestimmung der Dichte des Mediums integriert ist. Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung handelt es sich in diesem Falle um einen sog. Kompaktsensor. Die Fehlermeldung kann z. B. optisch, akustisch und/oder über zumindest zwei Datenleitungen digital ausgegeben werden.

Eine zum Kompaktsensor alternative Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung sieht zumindest zwei Datenleitungen vor, über die die Meßdaten zur Auswerte-/Regeleinheit geleitet werden oder über die die Auswerte-/Regeleinheit mit einer entfernten Kontrollstelle kommuniziert. Besonders vorteilhaft ist es in diesem Zusammenhang, wenn die jeweiligen Meß- und/oder Korrekturdaten digital an die entfernte Kontrollstelle übertragen werden. Die digitale Datenkommunikation hat gegenüber der analogen Datenübertragung den bekannten Vorteil einer erhöhten Störsicherheit. Für die Kommunikation kann selbstverständlich auf die bekannten Übertragungsprotokolle und Übertragungsstandards zurückgegriffen werden.

60

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird eine Ausgabeeinheit vorgeschlagen, die optisch und/oder akustisch eine Fehlermeldung an das Bedienpersonal ausgibt, wenn, bevorzugt im Rahmen

65

# DE 100 14 724 A 1

vorgegebener Toleranzwerte, ein vorgegebener Sollwert der Frequenzänderung über- oder unterschritten wird, der auf eine Massenänderung der schwingfähigen Einheit zurückzuführen ist.

Darüber hinaus ist vorteilhafterweise vorgesehen, daß der Regel-/Auswerteeinheit eine Speichereinheit zugeordnet ist, in der Sollwerte für tolerierbare Frequenzänderungen, die auf eine Massenänderung zurückgehen, abgespeichert sind.

5 Die Erfindung wird anhand der nachfolgenden Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung der erfundungsgemäßen Vorrichtung.

Fig. 2 mögliche, ausgewählte Schwingungsmoden einer bevorzugten schwingfähigen Einheit mit zwei paddelförmigen Schwingstäben:

10 a) Mode A, bei dem eine auftretende Frequenzänderung von der Massenankopplung an das Medium beeinflußt wird,  
b) Mode B, bei dem eine auftretende Frequenzänderung im wesentlichen auf Ansatzbildung zurückgeht,  
c) Mode C, bei dem die Frequenzänderung sowohl durch die Ansatzbildung als auch durch die Ankopplung an die Masse des Mediums beeinflußt wird,  
d) Mode D, bei dem die Frequenzänderung sowohl durch die Ansatzbildung als auch durch die Ankopplung an die Masse des Mediums beeinflußt wird

Fig. 3 skizzierte Eintauchkurven der in den Figuren Fig. 2a und Fig. 2b dargestellten Moden A und B mit und ohne 20 Ansatzmasse und bei negativer Massenänderung.

Fig. 4 skizzierte Eintauchkurven der in den Figuren Fig. 2c und Fig. 2d dargestellten Moden mit und ohne Ansatzmasse.

Fig. 5 schematische Darstellung der Ansatzkurven unterschiedlicher Moden in Luft und

Fig. 6 eine graphische Darstellung der Frequenzänderungs-Tupel.

25 Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung der erfundungsgemäßen Vorrichtung 1 zur Feststellung und/oder Überwachung des Füllstandes eines Mediums in einem Behälter-Behälter und Medium sind übrigens in der Fig. 1 nicht gesondert dargestellt. Die in der Fig. 1 gezeigte Vorrichtung 1 ist – wie bereits an vorhergehender Stelle erläutert – sowohl zur Füllstandserkennung als auch zur Bestimmung der Dichte des in dem Behälter befindlichen Mediums geeignet. Während im Fall der Füllstandserkennung die schwingfähige Einheit 2 nur bei Erreichen des detektierten Grenzfüllstandes in das 30 Medium bzw. nicht in das Medium eintaucht, muß sie zwecks Überwachung bzw. zwecks Bestimmung der Dichte  $\rho$  kontinuierlich bis zu einer vorbestimmten Eintauchtiefe  $h$  in das Medium eintauchen. Bei dem Behälter kann es sich beispielweise um einen Tank aber auch um ein Rohr handeln, das von dem Medium durchflossen wird.

Die Vorrichtung 1 weist ein im wesentlichen zylindrisches Gehäuse auf. An der Mantelfläche des Gehäuses ist ein Gewinde 7 vorgesehen. Das Gewinde 7 dient zur Befestigung der Vorrichtung 1 auf der Höhe eines vorbestimmten Füllstandes und ist in einer entsprechenden Öffnung des Behälters angeordnet. Es versteht sich von selbst, daß andere Arten der Befestigung, z. B. mittels eines Flansches, das Verschrauben ersetzen können.

40 Das Gehäuse des Vibrationsdetektors 1 ist an seinem in den Behälter 3 hineinragenden Endbereich von der Membran 5 abgeschlossen, wobei die Membran 5 in ihrem Randbereich in das Gehäuse eingespannt ist. An der Membran 5 ist die in den Behälter ragende schwingfähige Einheit 2 befestigt. Im dargestellten Fall hat die schwingfähige Einheit 2 die Ausgestaltung einer Stimmgabel, umfaßt also zwei voneinander beabstandete, auf der Membran 5 befestigte und in den Behälter hineinragende Schwingstäbe 3, 4.

45 Die Membran 5 wird von einem Antriebs-/Empfangselement 6 in Schwingungen versetzt, wobei das Antriebselement die Membran 5 mit einer vorgegebenen Erregerfrequenz zu Schwingungen anregt. Bei dem Antriebselement handelt es sich z. B. um einen Stapelantrieb oder um einen Bimorphantrieb. Beide Arten von piezo-elektrischen Antrieben sind aus dem Stand der Technik hinreichend bekannt, so daß an dieser Stelle auf eine entsprechende Beschreibung verzichtet werden kann. Aufgrund der Schwingungen der Membran 5 führt auch die schwingfähige Einheit 2 Schwingungen aus, wobei die Schwingfrequenzen unterschiedlich sind, wenn die schwingfähige Einheit 2 mit dem Medium in Kontakt ist und eine Ankopplung an die Masse des Mediums besteht, oder wenn die schwingfähige Einheit 2 frei und ohne Kontakt mit dem Medium schwingen kann.

50 Bei der Empfangseinheit kann es sich beispielsweise ebenso wie bei der Antriebseinheit um ein einziges Piezoelement handeln. Die Antriebs-/Empfangseinheit 6 regt die Membran 5 zu Schwingungen in Abhängigkeit von einem an dem Piezoelement anliegenden Sendesignal an; weiterhin dient sie zum Empfangen und Umwandeln der Schwingungen der Membran 5 in elektrische Empfangssignale.

55 Aufgrund dieses Schwingungsverhaltens des piezo-elektrischen Elements bewirkt die Spannungsdifferenz ein Durchbiegen der in das Gehäuse eingespannten Membran 5. Die auf der Membran 5 angeordneten Schwingstäbe 3, 4 der schwingfähigen Einheit 2 führen aufgrund der Schwingungen der Membran 5 gegensinnige Schwingungen um ihre Längsachse aus. Moden mit gegensinnigen Schwingungen haben den Vorteil, daß sich die von jedem Schwingstab 3, 4 auf die Membran 5 ausgeübten Wechselkräfte gegenseitig aufheben. Hierdurch wird die mechanische Beanspruchung der Einspannung minimiert, so daß näherungsweise keine Schwingungsenergie auf das Gehäuse oder auf die Befestigung des Vibrationsdetektors 1 übertragen wird. Hierdurch läßt sich effektiv verhindern, daß die Befestigungsmittel des Vibrationsdetektors 1 zu Resonanzschwingungen angeregt werden, die wiederum mit den Schwingungen der schwingfähigen Einheit interferieren und die Meßdaten verfälschen könnten.

60 Die elektrischen Empfangssignale werden über Datenleitungen 8, 9 an die Regel-/Auswerteeinheit 10 weitergeleitet. Der Regel-/Auswerteeinheit 10 ist eine Speichereinheit 11 zugeordnet, in der Sollwerte abgelegt sind, die es der Regel-/Auswerteeinheit erlauben, eine Ansatzbildung an der schwingfähigen Einheit 2 zu erkennen und gegebenenfalls korrigierend auf die Meßwerte Einfluß zu nehmen. Eine Fehlermeldung wird dem Bedienpersonal im gezeigten Fall über die Ausgabeeinheit 14 übermittelt. Weiterhin ist in Fig. 1 die von dem Vibrationsdetektor 1 entfernt angeordnete Kontroll- oder Leitstelle 12 zu sehen. Die Regel-/Auswerteeinheit 10 und die Kontrollstelle 12 kommunizieren miteinander über

die Datenleitung 13. Bevorzugt erfolgt die Kommunikation wegen der erhöhten Störsicherheit der Übertragung auf digitaler Basis.

Die Figuren Fig. 2a, Fig. 2b, Fig. 2c und Fig. 2d zeigen vier ausgewählte und mögliche Schwingungsmoden einer schwingfähigen Einheit 2 mit zwei paddelförmig ausgebildeten Schwingstäben 3, 4. Bei dem in Fig. 2b dargestellten Mode B ist die Eintauchkurve  $\Delta F$  im wesentlichen unabhängig von der Massenkopplung  $m_k$  an das Medium, da infolge der parallel zur Paddelfläche erfolgenden Schwingbewegungen die mit dem Medium wechselwirkenden Querschnittsflächen relativ klein sind. Die Schwingungsfrequenz ist daher im wesentlichen unabhängig von der Eintauchtiefe  $h$  der schwingfähigen Einheit 2 in das Medium, sie zeigt aber eine deutliche Abhängigkeit von der an den Schwingstäben 3, 4 vorhandenen Ansatzmasse  $m_a$ . Wie bereits mehrfach erwähnt, gelten analoge Überlegungen auch für einen Massenverlust, der an der schwingfähigen Einheit auftritt. Im Rahmen gewisser Toleranzen lässt sich daher aus einer Frequenzänderung  $\Delta F$  des Modes B ein eindeutiger Schluß auf die an den Schwingstäben 3, 4 vorhandene Ansatzmasse  $m_a$  ziehen.

Graphisch ist dieser funktionale Zusammenhang in Fig. 3 zu sehen. Fig. 3 zeigt die Eintauchkurven  $\Delta F(h)$  der in Fig. 2b dargestellten Moden A und B mit und ohne Ansatzmasse  $m_a$ . Dargestellt sind in Fig. 3 auch die entsprechenden Eintauchkurven  $\Delta F(h)$  bei einer negativen Massenänderung der schwingfähigen Einheit 2, also einem Masseverlust ( $m_k$ ) an der schwingfähigen Einheit 2; ein Masseverlust tritt z. B. infolge von Korrosion oder mechanischer Abnutzung der Schwingstäbe 3, 4 auf. Die Eintauchkurven  $\Delta F(h)$ , also die Frequenzänderung  $\Delta F$  des Modes B in Abhängigkeit von der Eintauchtiefe  $h$ , haben unabhängig von der Masse der schwingfähigen Einheit 2 näherungsweise die Steigung Null. Sie verlaufen also im wesentlichen parallel zur x-Achse. Logischerweise wird die Frequenzänderung  $\Delta F$  mit wachsender bzw. fallender Massenänderung  $m_a$  größer. Ein gänzlich anderes Verhalten zeigen die Eintauchkurven  $\Delta F(h)$  des gleichfalls in Fig. 3 dargestellten Modes A: Eine Frequenzänderung wird hier ganz klar von der Eintauchtiefe  $h$  der schwingfähigen Einheit 2 in das Medium dominiert. Wiederum drückt sich eine positive oder negative Massenänderung  $m_a$ ,  $m_k$  der schwingfähigen Einheit 2 in einer Parallelverschiebung der Eintauchkurven  $\Delta F(h)$  aus.

Beide Moden, Mode A und Mode B, sind daher bestens dazu geeignet, in Verbindung mit einer ersten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens verwendet zu werden. Gemäß der ersten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt die Bestimmung des Grades der Ansatzbildung (bzw. des Massenverlusts) nämlich anhand zweier Moden, wobei es sich bei dem ersten Mode um einen Mode handelt, dessen Schwingungen im wesentlichen unabhängig sind von dem Medium, und wobei es sich bei dem zweiten Mode um einen Mode handelt, dessen Schwingungen im wesentlichen nur von dem Medium beeinflusst werden.

Die anhand des von der Ansatzmasse  $m_a$  (bzw. dem Masseverlust) abhängigen Modes B ermittelte Frequenzänderung  $\Delta F$  wird – wie eine vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens vorschlägt – zur Inline-Korrektur der Meßdaten des Vibrationsdetektors 1 herangezogen. Weiterhin können die Informationen über den Grad der Ansatzbildung an der schwingfähigen Einheit 2 bzw. des Massenverlusts der schwingfähigen Einheit 2 auch für "Predictive Maintenance"-Zwecke herangezogen werden:

Dem Bedienpersonal wird angezeigt oder mitgeteilt, wann die schwingfähige Einheit 2 gereinigt oder durch eine ansatzfreie Einheit 2 ersetzt werden muß.

Die Figuren Fig. 2c und Fig. 2d zeigen zwei weitere mögliche Moden einer schwingfähigen Einheit 2 mit zwei paddelförmig ausgebildeten Schwingstäben 3, 4, die bevorzugt bei der zweiten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens eingesetzt werden. Voraussetzung ist hier, daß beide Moden C und D sowohl eine Abhängigkeit von der Massenkopplung  $m_k$  der schwingfähigen Einheit an das Medium als auch eine Abhängigkeit von der Ansatzmasse, die sich an der schwingfähigen Einheit gebildet hat, aufweisen. Weiterhin müssen sich die beiden ausgewählten Moden deutlich hinsichtlich ihrer Eintauchkurven  $\Delta F(h)$  voneinander unterscheiden. Daß dies der Fall ist, lässt sich anhand der in Fig. 4 gezeigten skizzierten Kurvenscharen klar erkennen.

In Fig. 5 sind übrigens die Ansatzkurven  $\Delta F(m_a)$  des Modes A, B und C dargestellt. Während Mode B nur eine geringe Abhängigkeit von der Ansatzmasse  $m_a$  aufweist, zeigen die Moden C und D eine starke Abhängigkeit von einer Massenänderung an der schwingfähigen Einheit 2.

Mathematisch formal lassen sich die Eintauchkurven  $\Delta F(h)$  der beiden Moden C und D in erster Näherung (der Mischterm wird vernachlässigt) durch folgendes Gleichungssystem beschreiben:

$$\Delta F_C = f_C^1(m_k) + f_C^2(m_a) \quad (1)$$

$$\Delta F_D = f_D^1(m_k) + f_D^2(m_a) \quad (2)$$

Dieses Gleichungssystem muß nach  $m_a = f(\Delta F_0, \Delta F_x)$  aufgelöst werden.

Aus Gleichung (1) folgt:

$$f_C^2(m_a) = \Delta F_C - f_C^1(m_k) \quad (3)$$

Aus Gleichung (2) folgt:

$$f_D^2(m_a) = \Delta F_D - f_D^1(m_k) \quad (4)$$

$$m_k = f_D^{-1} \left( \Delta F_D - f_D^2(m_a) \right) \quad (5)$$

Bevorzugt wird übrigens ein numerisches Lösungsverfahren angewendet.

Aus (3) und (5) ergibt sich:

$$f_c^2(m_a) = \Delta F_c - f_c^1 \left[ f_D^1 \left( \Delta F_D - f_D^2 \left( f_C^2 (\Delta F_c - f_c^1(m_a)) \right) \right) \right] \quad (6)$$

Die Angabe einer expliziten Formel für  $m_a$  erübrigts sich übrigens, da letztlich nur die relative Frequenzänderung des Modes C interessiert, die durch die Ansatzbildung verursacht wird. Der Grenzwert für  $f_c^2(m_a)$  muß so festgelegt werden, daß stets ein sicheres Detektieren des vorbestimmten Füllstandes bzw. der Dichte des Mediums innerhalb der tolerierbaren Grenzen gewährleistet ist.

Die in **Fig. 4** und **Fig. 5** dargestellten vorzugsweise empirisch ermittelten Eintauchkurven und Ansatzkurven lassen sich in bekannter Weise durch Näherungsfunktionen approximieren und damit mathematisch beschreiben.

Über das Gleichungssystem und die durch Approximation gewonnenen Kurven läßt sich für jedes gemessene Frequenzdifferenz-Tupel  $\Delta F_c, \Delta F_D$  der Wert für  $f_c^2(m_a)$ , also die relative Frequenzänderung des Modes C in Abhängigkeit von der Ansatzmasse  $m_a$  bestimmen.

In **Fig. 6** sind die Meßwerte der Frequenzdifferenz-Tupel über  $\Delta F_c, \Delta F_D$  aufgetragen. Die Meßpunkte unterscheiden sich hinsichtlich der Eintauchtiefe  $h$  und/oder hinsichtlich der an der schwingfähigen Einheit gebildeten Ansatzmasse  $m_a$ . Die Meßpunkte mit gleicher Ansatzmasse  $m_a$  sind in **Fig. 7** jeweils miteinander verbunden.

Die Meßwerte im oberen Bereich von **Fig. 6** repräsentieren den Zustand "Wenig Ansatzmasse", während die Meßwerte im unteren Bereich den Zustand "Viel Ansatzmasse" repräsentieren. Um die Meßdaten auszuwerten, genügt es folglich, wenn die Regel-/Auswerteeinheit 10 die Frequenzänderungen zweier hinreichend unterschiedlicher Schwingungsmoden, im dargestellten Fall Mode C und Mode D, mißt und mit Werten, die in einer Tabelle abgespeichert sind, vergleicht. Anhand der Lage der Meßwerte läßt sich dann klar unterscheiden, ob die Ansatzbildung bzw. der Masseverlust noch im unkritischen Bereich liegt oder ob ein Alarm ausgelöst werden muß.

25

#### Bezugszeichenliste

- 1 Vibrationsdetektor bzw. Dichtesensor
- 2 Schwingfähige Einheit
- 3 Schwingstab
- 4 Schwingstab
- 5 Membran
- 6 Erreger-/Empfangseinheit
- 7 Gewinde
- 8 Datenleitung
- 9 Datenleitung
- 10 Regel-/Auswerteeinheit
- 11 Speichereinheit
- 12 Kontrollstelle
- 13 Datenleitung
- 14 Ausgabeeinheit

#### Patentansprüche

- 45 1. Verfahren zur Feststellung und/oder Überwachung des Füllstandes eines Mediums in einem Behälter bzw. zur Ermittlung der Dichte eines Mediums in dem Behälter, wobei eine schwingfähige Einheit auf der Höhe des vorbestimmten Füllstandes angebracht wird bzw. wobei eine schwingfähige Einheit so angebracht wird, daß sie bis zu einer definierten Eintauchtiefe in das Medium eintaucht, wobei die schwingfähige Einheit mittels einer Erreger-Schwingung zu Schwingungen angeregt wird und wobei das Erreichen des vorbestimmten Füllstandes erkannt wird, sobald die schwingfähige Einheit mit einer Schwingfrequenz schwingt, die eine vorbestimmte Frequenzänderung gegenüber der Erregerfrequenz aufweist, bzw. wobei die Dichte des Mediums anhand der Schwingfrequenz der schwingfähigen Einheit ermittelt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß zumindest ein erster Mode und ein zweiter Mode der Schwingungen der schwingfähigen Einheit (2) ausgewertet werden und daß anhand der ausgewerteten Moden eine Massenänderung an der schwingfähigen Einheit (2) erkannt wird.
- 50 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als erster und zweiter Mode Moden ausgewertet werden, deren Schwingungen von dem Medium unterschiedlich beeinflußt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei dem ersten Mode um einen Mode handelt, dessen Schwingungen im wesentlichen unabhängig sind von dem Medium, und daß es sich bei dem zweiten Mode um einen Mode handelt, dessen Schwingungen im wesentlichen von dem Medium beeinflußt werden.
- 60 4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß anhand einer Änderung des ersten Modes, dessen Schwingungen im wesentlichen unabhängig von dem Medium sind, erkannt wird, ob eine Massenänderung an der schwingfähigen Einheit (2) aufgetreten ist.
5. Verfahren nach Anspruch 1, 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß anhand einer Frequenzänderung der Schwingungen des ersten Modes erkannt wird, ob an der schwingfähigen Einheit (2) eine Massenänderung aufgetreten ist.
6. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß als erster Mode und als zweiter Mode der Schwingungen der schwingfähigen Einheit (2) zwei Moden ausgewählt werden, wobei beide Moden jeweils einen ersten Anteil aufweisen, der abhängig ist von dem Medium, und wobei beide Moden einen zweiten Anteil aufwei-

# DE 100 14 724 A 1

sen, der im wesentlichen unabhängig ist von dem Medium und im wesentlichen nur von der jeweiligen Masse der schwingfähigen Einheit (2) abhängig ist.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß anhand der funktionalen Abhängigkeit des ersten und des zweiten Modes der Schwingungen der schwingfähigen Einheit (2) von dem Medium bzw. von der Masse der schwingfähigen Einheit (2) Rückschlüsse auf die Masse des Ansatzes, der sich an der schwingfähigen (2) Einheit gebildet hat, gezogen werden. 5

8. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5 oder nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß eine Fehlermeldung ausgegeben wird, wenn die durch die Massenänderung an der schwingfähigen Einheit hervorgerufenen Änderungen des ersten und/oder des zweiten Modes der Schwingungen der schwingfähigen Einheit (2) einen vorgegebenen Sollwert überschreiten. 10

9. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6 oder nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß eine durch eine Massenänderung an der schwingfähigen Einheit (2) hervorgerufene Änderung des ersten und/oder des zweiten Modes der Schwingungen der schwingfähigen Einheit (2) dazu verwendet wird, eine Inline-Korrektur der Schwingfrequenz der schwingfähigen Einheit (2) vorzunehmen. 15

10. Vorrichtung zur Feststellung und/oder Überwachung des Füllstandes eines Mediums in einem Behälter bzw. zur Ermittlung der Dichte eines Mediums in dem Behälter, wobei eine schwingfähige Einheit vorgesehen ist, die auf der Höhe des vorbestimmten Füllstandes angebracht ist bzw. wobei eine schwingfähige Einheit so angebracht ist, daß sie bis zu einer definierten Eintauchtiefe in das Medium eintaucht, wobei eine Antriebs-/Empfangseinheit vorgesehen ist, die die schwingfähige Einheit mit einer vorgegebenen Erregerfrequenz zu Schwingungen anregt und die die Schwingungen der schwingfähigen Einheit empfängt, und wobei eine Regel-/Auswerteeinheit vorgesehen ist, die das Erreichen des vorbestimmten Füllstandes erkennt, sobald eine vorgegebene Frequenzänderung auftritt bzw. die anhand der Schwingfrequenz der schwingfähigen Einheit die Dichte des Mediums ermittelt, dadurch gekennzeichnet, 20

daß die Regel-/Auswerteeinheit (10) zumindest einen ersten Mode und einen zweiten Mode der Schwingungen der schwingfähigen Einheit (2) zur Auswertung heranzieht und 25

daß die Regel-/Auswerteeinheit (10) anhand der ausgewerteten Moden eine Massenänderung an der schwingfähigen Einheit (2) erkennt.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerte-/Regeleinheit (10) in die Vorrichtung zur Bestimmung und/oder Überwachung des Füllstandes bzw. zur Bestimmung der Dichte des Mediums integriert ist. 30

12. Vorrichtung nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest zwei Datenleitungen (8, 9) vorgesehen sind, über die Meßdaten zur Auswerte-/Regeleinheit (10) geleitet werden oder über die die Auswerte-/Regeleinheit (10) mit einer entfernten Kontrollstelle (12) kommuniziert. 35

13. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß eine Ausgabeeinheit (14) vorgesehen ist, die optisch und/oder akustisch eine Fehlermeldung an das Bedienpersonal ausgibt, wenn, bevorzugt im Rahmen vorgegebener Toleranzwerte, ein vorgegebener Sollwert der Frequenzänderung über- oder unterschritten wird, der auf eine Massenänderung an der schwingfähigen Einheit (2) zurückgeht. 40

14. Vorrichtung nach Anspruch 10 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Regel-/Auswerteeinheit (10) eine Speichereinheit (11) zugeordnet ist, in der Sollwerte für tolerierbare Frequenzänderungen, die auf eine Massenänderung an der schwingfähigen Einheit (2) zurückgehen, abgespeichert sind. 45

15. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßdaten und die Daten über die Ansatzbelegung der schwingfähigen Einheit (2) digital an die entfernte Kontrollstelle (13) übertragen werden. 50

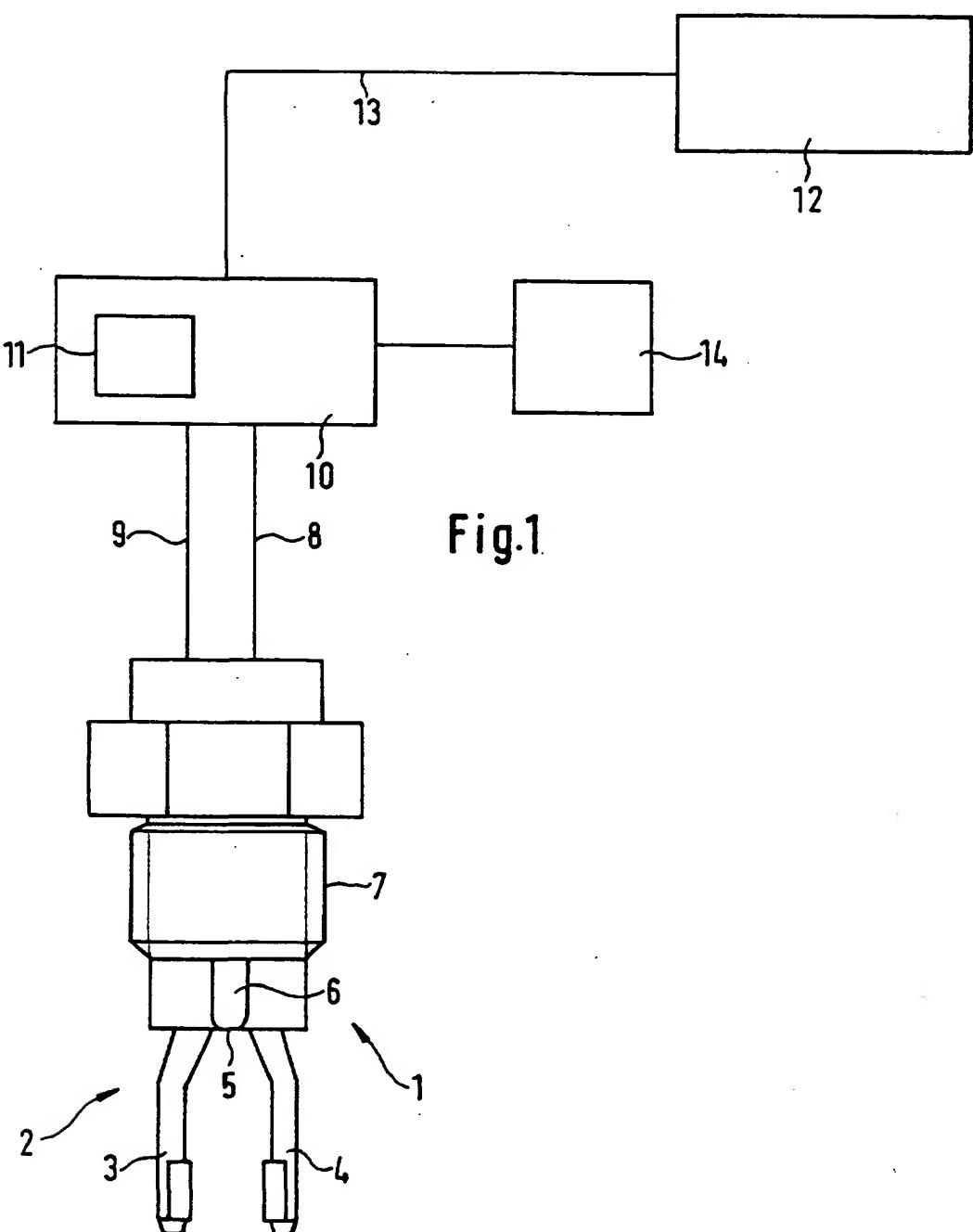
Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

45

55

60

65



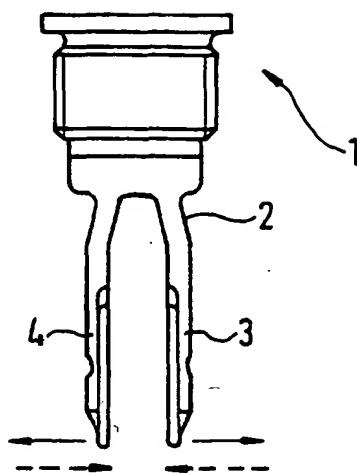


Fig. 2a

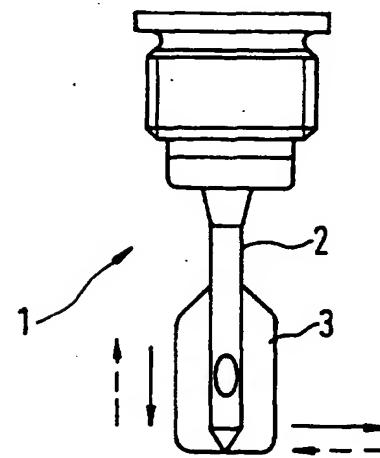


Fig. 2b

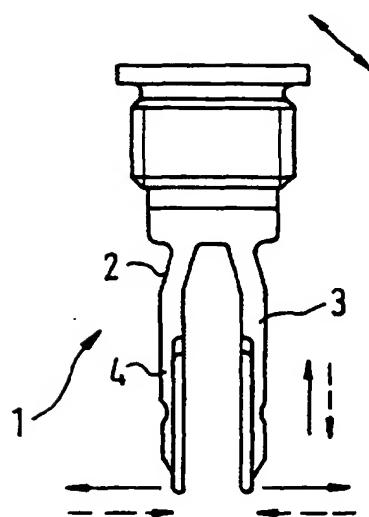


Fig. 2c

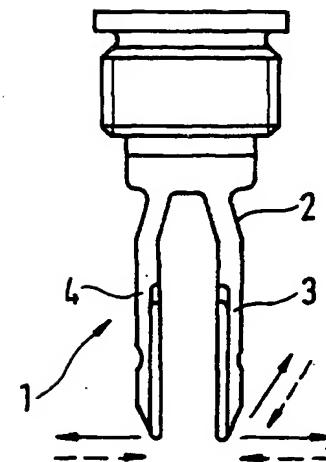


Fig. 2d

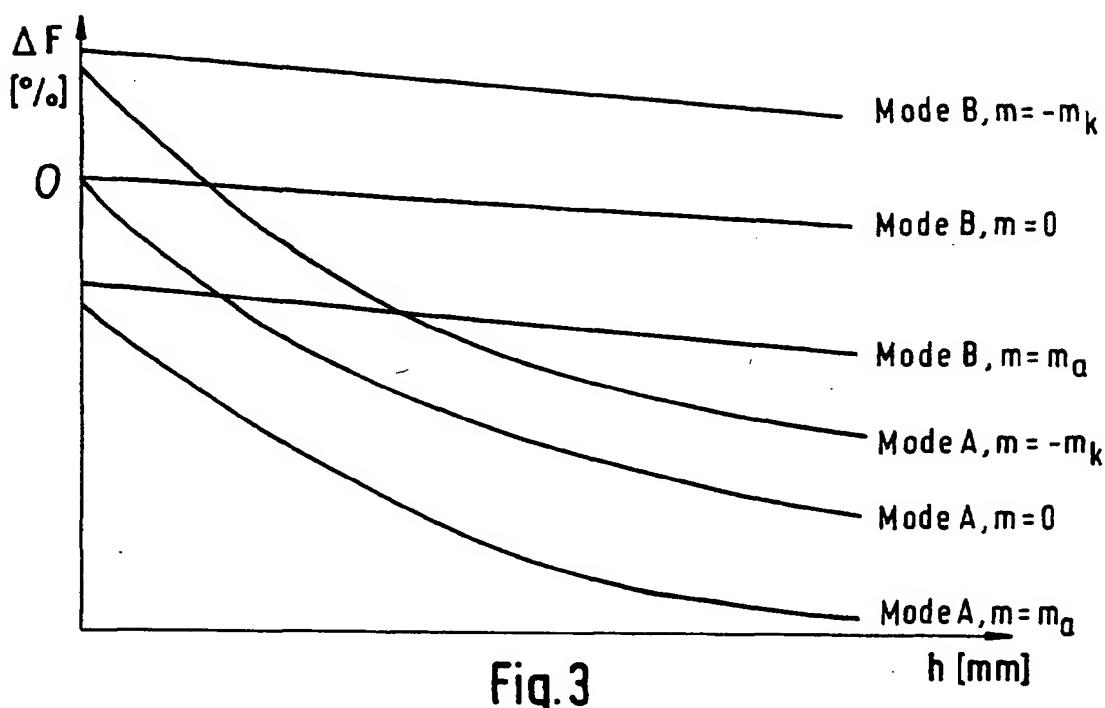


Fig. 3

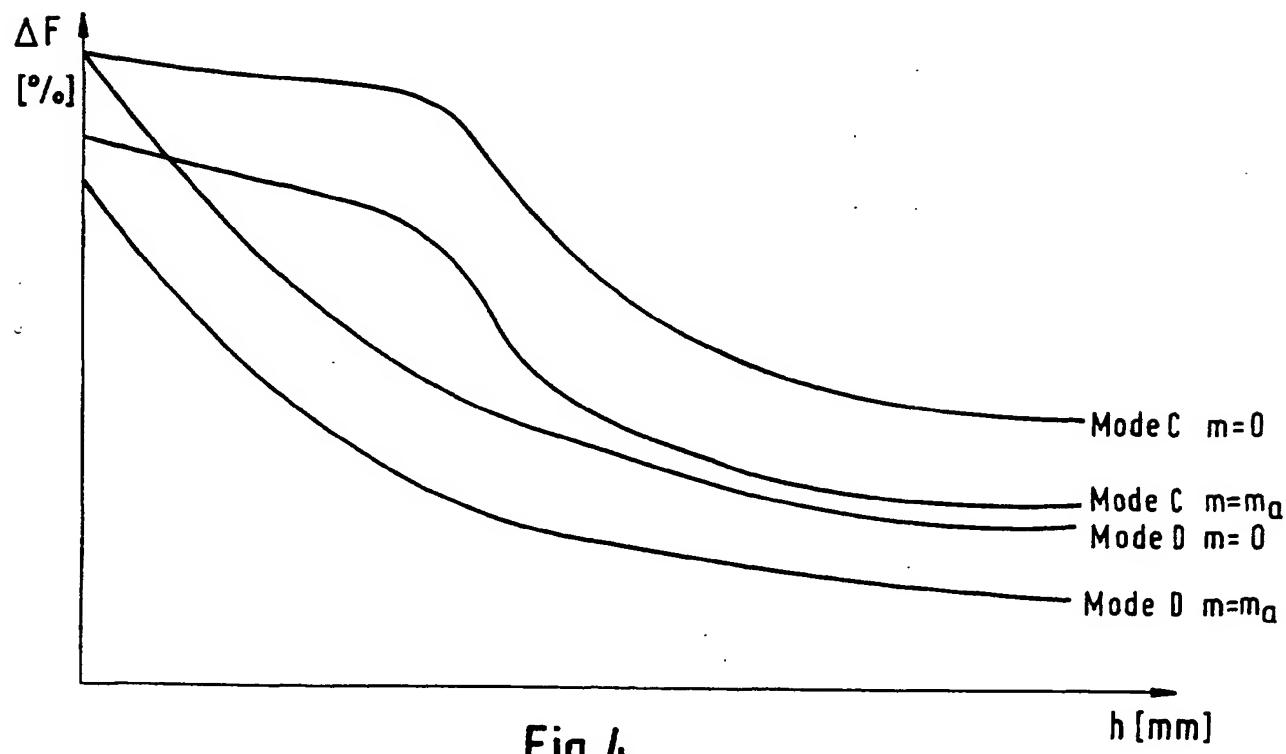


Fig. 4

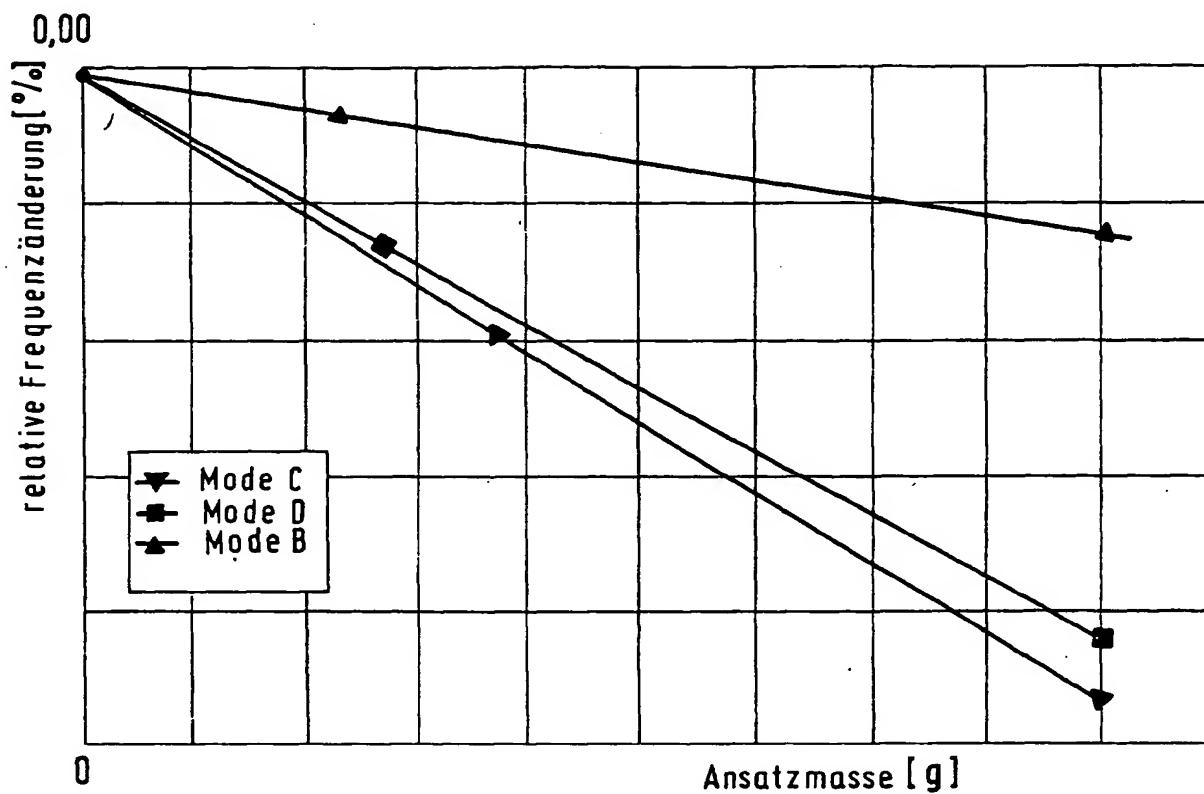


Fig. 5

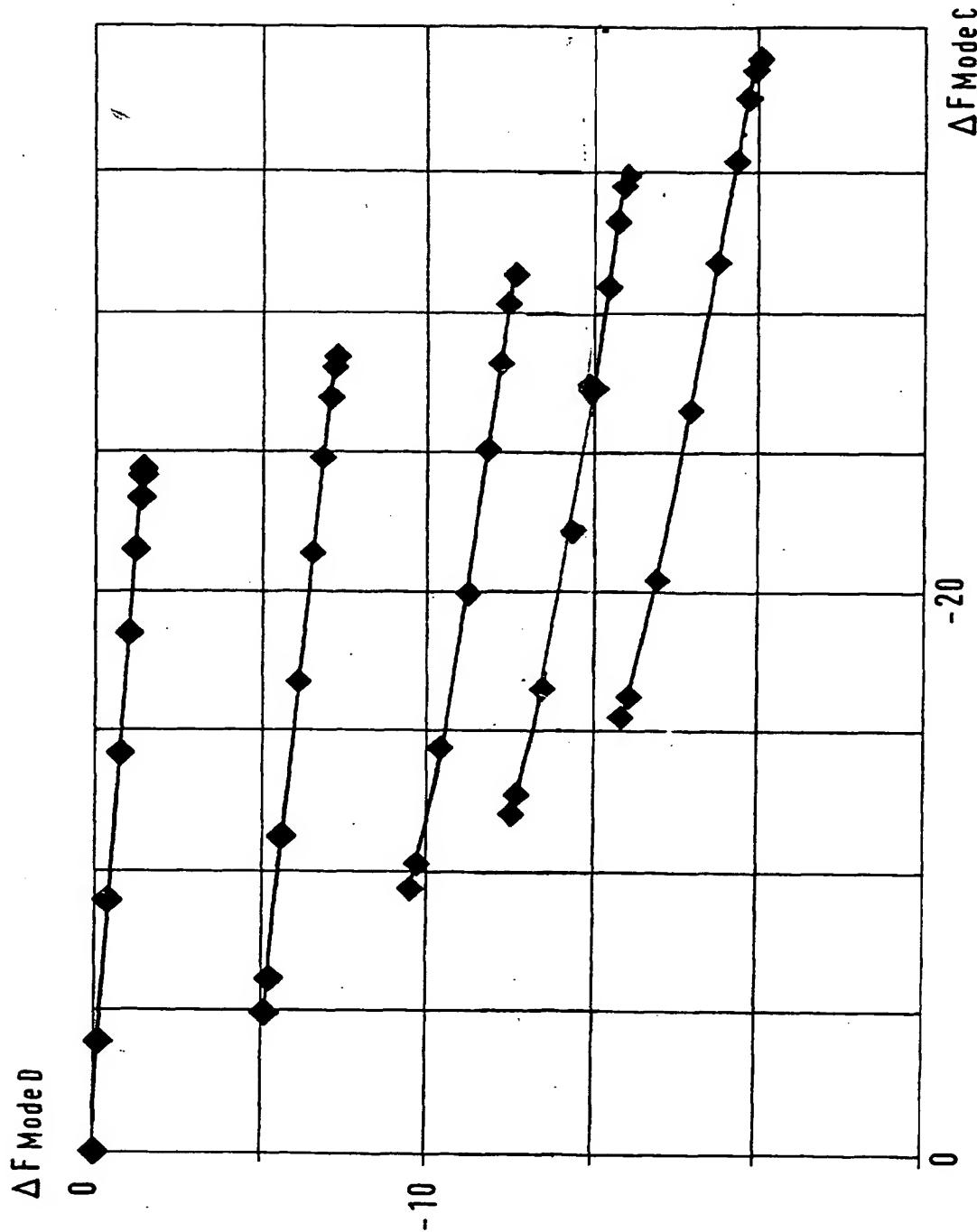


Fig. 6

BEST AVAILABLE COPY

101 390/744